

XIV KONGRESS DER INTERNATIONALEN GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE  
HAMBURG 1980

KOMMISSION IV ARBEITSGRUPPE 4  
P r e s e n t e d P a p e r

Dieter KOLOUCH

Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover

ERSTELLUNG TOPOGRAPHISCHER KARTEN AUS INTERFEROMETRISCHEN  
AUFNAHMEN AKTIVER SENSOREN

Abstract

Die Erzeugung von Interferenzen in Aufnahmen aktiver Sensoren wie Side-Scan-Sonar oder Side-Looking-Radar eröffnet neue Möglichkeiten der rationelleren Erstellung topographischer Karten von Landflächen und vom Meeresboden.

Die Arbeit befaßt sich mit den physikalischen und geometrischen Gegebenheiten sowie den Möglichkeiten der digitalen geometrischen Bildverarbeitung zur automatischen Herstellung der topographischen Karten. Erste Ergebnisse werden vorgestellt.

1. Einleitung

Die Erfassung und Darstellung der Topographie von Gebäudeflächen aus fotografischen Aufnahmen ist eine der Aufgaben der Photogrammetrie. Für die Bereiche der nicht mit Wasser bedeckten Erdoberfläche bestehen seit langem Verfahren, die solche Arbeiten möglich machen. Nachdem sich in den letzten Jahren die industriellen und ozeanographischen Aktivitäten im Küstenbereich erheblich verstärkten, vermehrten sich auch die Anforderungen, ähnliche Verfahren und Methoden zur topographischen Erfassung des Meeresbodens zu entwickeln. Die Kenntnis der Struktur dieser Flächen ist eine der ersten und wichtigsten Voraussetzungen dafür. Die bisher bestehenden konventionellen hydrographischen Vermessungsmethoden (Echolot) sind in vielen Fällen nicht ausreichend, um diesen immer größer werdenden Anforderungen gerecht zu werden. Das liegt in der Hauptsache an der hohen Kosten- und Zeitintensität, die notwendige kurzzeitige Wiederholungen verhindern. Der naheliegende Gedanke, diese Probleme mit Methoden der Unterwasserphotogrammetrie zu lösen, scheitert in den meisten Fällen einerseits an der Wasserqualität, die brauchbare Aufnahmen verhindert, andererseits an dem Mangel an gut identifizier-

baren Punkten im Bild, die zu einer Orientierung unbedingt notwendig sind.

Bei diesen doch sehr erheblichen Beschränkungen kommt man sehr schnell zur Anwendung hydroakustischer Systeme, speziell zu bilderzeugenden Anlagen, die ausgedehnte Bereiche erfassen können. Das einzige operationell einsetzbare Gerät ist hier das Side-Scan-Sonar, das ursprünglich für die qualitativen Untersuchungen der Meeresgeologen und Ozeanographen entwickelt wurde /1/. Die Bestrebungen der letzten Jahre gehen jedoch immer mehr dahin, diesen Sensor auch für quantitative Zwecke zu nutzen. Über die Anwendungsmöglichkeiten dieses Gerätes für topographische Zwecke soll im folgenden berichtet werden.

## 2. Aufbau und Arbeitsweise eines Zweikanal-Side-Scan-Sonar Systems

Side-Scan-Sonar ist ähnlich dem Side-Looking-Airborne-Radar ein dynamisches bilderzeugendes System. Es besteht im allgemeinen aus drei Einheiten: einem hydrodynamisch verkleideten Schleppkörper (Fisch), der die Plattform für die Sensoren ist, einem Schleppkabel und einer Steuerungs- und Aufzeichnungsanlage (Rekorder). Während des Meßvorgangs wird der Fisch an dem Schleppkabel auf einem vorher festgelegten Kurs durch das Wasser gezogen. Von den Sensoren werden dabei nach beiden Seiten senkrecht zum Kurs hochfrequente Schallimpulse abgegeben (Abb.1).

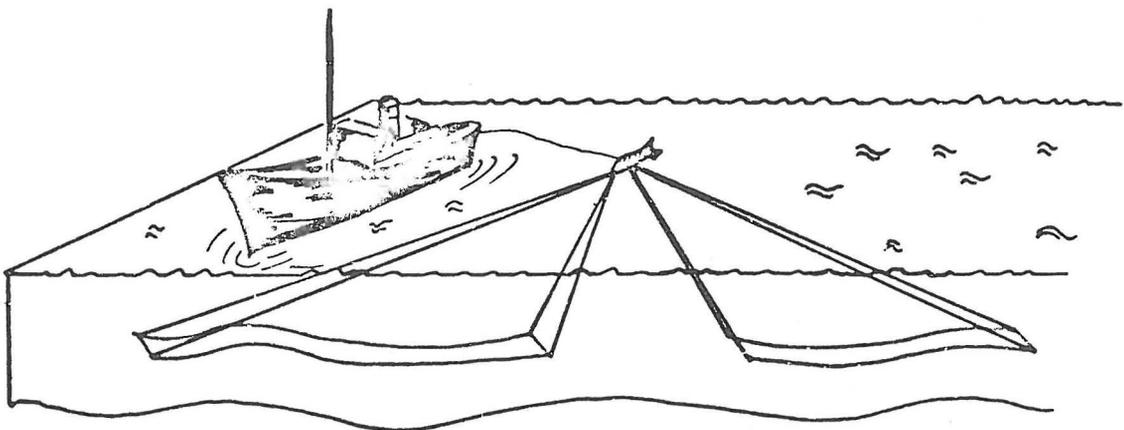


Abb.1: Arbeitsprinzip eines Side-Scan-Sonar

Die entstehende Schallwelle ist horizontal stark gebündelt, hat aber einen großen vertikalen Öffnungswinkel. Sie trifft auf den Meeresboden und wird von hier aus teilweise zum Sensor reflektiert. Wie Abbildung 1 zeigt, wird durch den großen vertikalen Öffnungswinkel erreicht, daß viele Reflexionen (Echos) je nach Abstand vom Sensor, der inzwischen auf Empfang geschaltet wurde, zeitlich nacheinander eintreffen. Die empfangenen akkustischen Impulse werden in elektrische Signale umgesetzt und verstärkt. Da je nach Abstand der Reflexionspunkte und damit je nach Zeiteinheit des Empfangs der Schall durch das Wasser unterschiedlich stark gedämpft wird, variiert auch die Signalverstärkung zeitabhängig (Time Varying Gain, TVG) /2/. Unter Vernachlässigung der Fehlereinflüsse durch physikalische Parameter ist die Signalintensität jetzt noch abhängig von den Bodenreflexionseigenschaften und dem Einfallswinkel auf den Meeresboden. Die Signalstärke moduliert die bilderzeugenden Elemente einer Bildzeile. Durch die Vorwärtsbewegung des Schiffes und

damit des Sensors und der fortwährenden Aussendung weiterer Impulse entsteht Zeile für Zeile ein Bild, in Abbildung 2 für einen Kanal dargestellt.

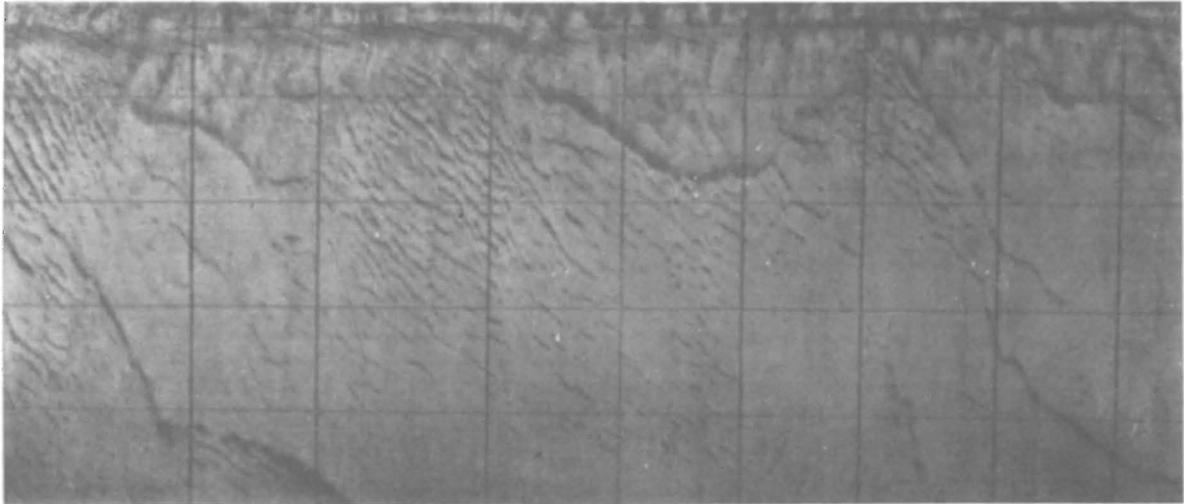


Abb.2: Side-Scan-Sonar Aufnahme (Papieraufzeichnung)

Die Datenaufzeichnung wird standardmäßig auf elektrisch sensibilisierendem Papier durchgeführt (Helixtrommelsystem), wobei die Papiergeschwindigkeit mit der Schiffsbewegung synchronisiert wird. Bei der Speicherung der Information auf Magnetband, die natürlich auch möglich ist, erhöht sich der dynamische Bereich und damit auch der Informationsgehalt. Eine solche Aufzeichnung der Daten ist Voraussetzung für die Anwendung von digitalen Datenverarbeitungstechniken, auf die später noch eingegangen wird.

### 3. Side-Scan-Sonar als Topographischer Sensor

Eine normale Sonaraufnahme enthält wie auch ein fotografisches Bild nur eine zweidimensionale Information. Es ist dazu noch durch die Schrägstreckenaufnahme und durch unterschiedliche Maßstäbe geometrisch verzerrt. Diese Verzerrungen lassen sich jedoch mit relativ einfachen Mitteln analog oder auch digital eliminieren. Der Versuch, anschließend sich überlappende Aufnahmen stereoskopisch auszuwerten, scheitert an den relativen geometrischen Verzerrungen durch die Bewegung des Sensors während der Aufnahme und an dem Mangel an identifizierbaren Punkten in beiden Bildern zur Orientierung /1/.

Möglichkeiten zur Tiefenbestimmung bieten jedoch das Auftreten von Interferenzstreifen im Bild (Abb.3). Diese Muster, die in direktem Zusammenhang zur Wassertiefe stehen, treten auf natürlichem Wege durch Überlagerung von direktem und an der Wasseroberfläche reflektiertem Signal auf (Lloyd-Mirror-Effekt). Erste Experimente sind bereits 1967-1971 mit solchen Mustern gemacht worden /3,4/.

Aus Abb.4 läßt sich ohne weiteres der geometrische Zusammenhang zwischen Lage der Interferenzlinien im Bild und der dazugehörigen Wassertiefe ableiten. Als Ergebnis erhält man nach der Auswertung aus einer Meßfahrt ein Tiefenraster, das zu einer Interpolation von Tiefenlinien völlig ausreicht. Die Einbindung in das Lagekoordinatensystem wird durch die Messung von Kursdaten erreicht.

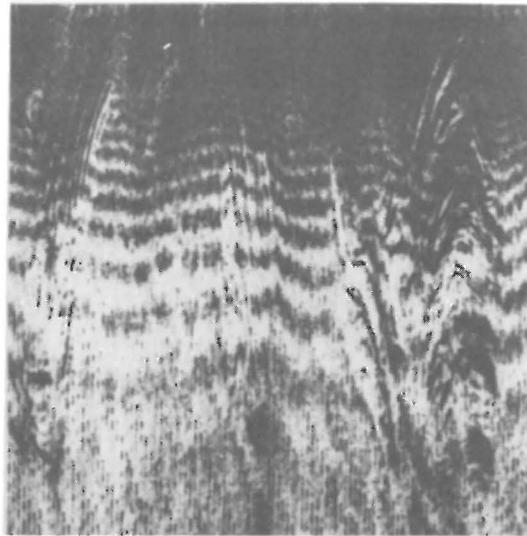


Abb.3: Der Lloyd-Mirror Effekt (aus /5/)

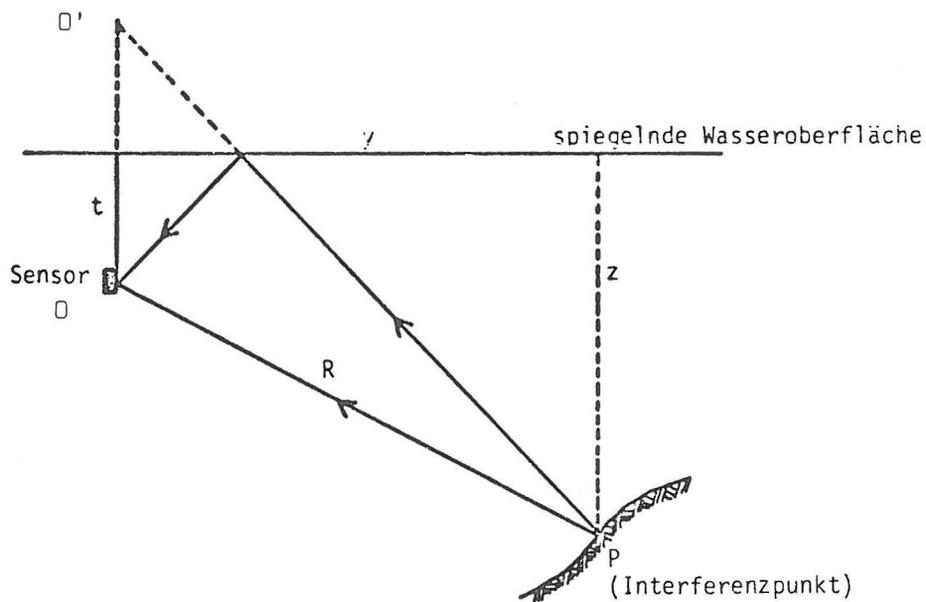


Abb. 4: Geometrie des Lloyd-Mirror-Effektes

$$\overline{O'P} = \overline{OP} + (n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda = R + (n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda \quad (1)$$

$$\overline{O'P}^2 = (R + (n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda)^2 = (Z + t)^2 + y^2 \quad (2)$$

$$\overline{OP}^2 = R^2 = (Z + t)^2 + y^2 \quad (3)$$

mit

- R = Schrägstrecke zu einem Interferenzpunkt
- n = Streifenordnung (natürliche Zahl)
- Z = Wassertiefe
- t = Eintauchtiefe des Sensors

$\lambda$  = benutzte Wellenlänge  
 $y$  = Horizontale Entfernung

Eine maximale Signalverstärkung durch Überlagerung der beiden Signale - schwarzer Punkt im Bild - entsteht dann, wenn die Wegdifferenz der Signale ein ganzes Vielfaches  $n$  der Wellenlänge  $\lambda$  ist. Da durch die unterschiedlichen Schallwiderstände von Wasser und Luft bei der Totalreflexion an der Wasseroberfläche ein Phasensprung von  $180^\circ$  auftritt /4/, muß der Faktor  $(n - \frac{1}{2})$  angesetzt werden. Aus (2) und (3) läßt sich ohne Schwierigkeiten ableiten

$$Z = \frac{(n - \frac{1}{2}) R \cdot \lambda}{2t} + \frac{(n - \frac{1}{2})^2 \cdot \lambda^2}{4t} \quad (\text{Wassertiefe}) \quad (4)$$

$$y = (R^2 - (Z-t)^2)^{1/2} \quad (\text{Horizontale Entfernung}) \quad (5)$$

In der Praxis tritt der Lloyd-Mirror-Effekt nur sehr selten auf. Die Voraussetzung für eine spiegelnde Oberflächenreflexion beinhaltet Bedingungen für den Seezustand, die fast nie gegeben sind. Für einen operationellen Einsatz müssen daher die Interferenzen künstlich erzeugt werden. Dazu werden zwei Sensoren in einem bestimmten Abstand  $a$  auf einer Seite übereinandergesetzt (doppelte Sensoranordnung). Die ankommenden Signale werden dann bei der Aufzeichnung addiert. Das aufsummierte Signal hat jetzt ein Maximum, wenn die Weglängendifferenz ein ganzes Vielfaches der Wellenlänge  $\lambda$  ist. Der nun bestehende geometrische Zusammenhang zwischen Interferenz und der Wassertiefe läßt sich aus Abbildung 5 ableiten.

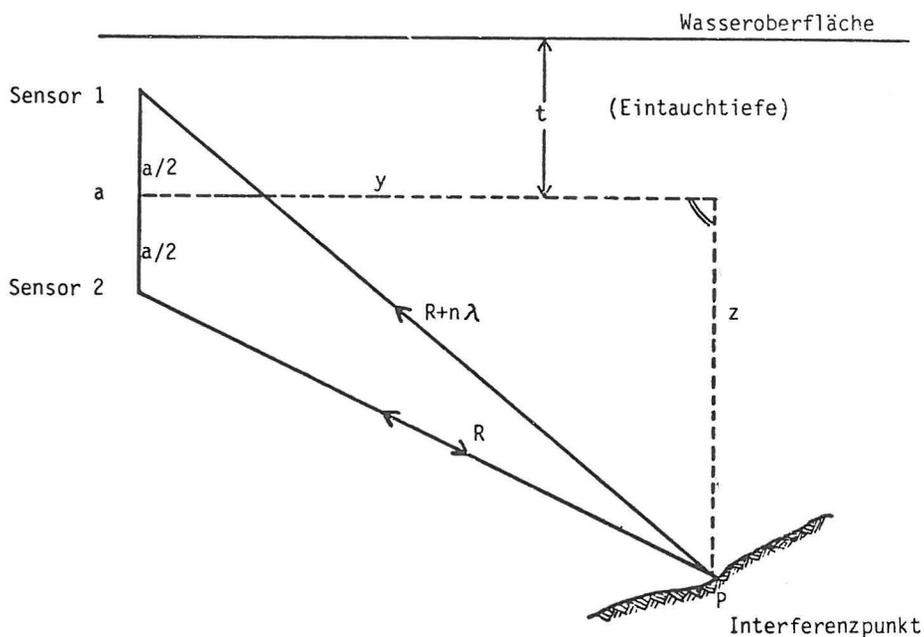


Abb.5: Geometrie bei doppelter Sensoranordnung

$$(R + n\lambda)^2 = (Z + \frac{a}{2})^2 + y^2 \quad (6)$$

$$R^2 = (Z - \frac{a}{2})^2 + y^2 \quad (7)$$

wobei  $a$  der Abstand der Sensoren ist.  
Nach entsprechender Umwandlung erhält man

$$Z = \frac{R \cdot n \cdot \lambda}{a} + \frac{n^2 \cdot \lambda^2}{2a} \quad \text{Wassertiefe} \quad (8)$$

$$y = \left( R^2 - \left( Z - \frac{a}{2} \right)^2 \right)^{1/2} \quad \text{Horizontalentfernung} \quad (9)$$

Die Wassertiefe  $Z$  ist hier der senkrechte Abstand von Sensormittelpunkt und Interferenzpunkt. Die absolute Wassertiefe ergibt sich nach Addition der Eintauchtiefe  $t$ .

Während beim natürlich auftretenden Lloyd-Mirror-Effekt eine Rotation des Sensors während des Meßvorgangs bis zu mehreren Grad keinen Einfluß auf die Geometrie hat - das virtuelle Bild eines zweiten Sensors liegt immer senkrecht über dem eigentlichen Sensors -, verfälscht bei der doppelten Sensorenanordnung eine solche Bewegung die ermittelten Tiefenwerte doch beträchtlich. Nach [1] können die Abweichungen von der wahren Wassertiefe je nach Entfernung, Depressionswinkel und Rotation bis zu 15 m betragen. Es wird deshalb notwendig, diese Rotation fortlaufend mitzuerfassen und in die Verarbeitung einfließen zu lassen. Die Zuordnung dieser Werte, wie auch der gemessenen Positionswerte zu den Bilddaten geschieht durch ebenfalls miterfaßte Zeiteinheiten.

#### 4. Beispiel einer Auswertung von interferometrischen Side-Scan-Sonar-Daten

Mit der Entwicklung der Hardware zur Erzeugung von interferometrischen Side-Scan-Sonar-Daten haben sich in den letzten Jahren verschiedene Institutionen beschäftigt. Am Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen entstand im Rahmen eines Teilprojekts des Sonderforschungsbereichs 149 ein Schleppkörper mit integriertem Winkelgeschwindigkeitsmesser. Diese Anlage befindet sich zur Zeit noch in der Testphase. Das nachfolgende Beispiel wurde mit der an dieser Institution bereits entwickelten Software zur digitalen Verarbeitung solcher Daten durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine Aufnahme des Rijkswaterstaat, Niederlande, die analog als Papierbild vorlag. Die niederländische Anlage ist fest am Schiff installiert und arbeitet mit einer Frequenz von 300 kHz. Die Analogvorlage wurde an einem Optronics P1700 (Trommelplotter) digitalisiert (Abb.6)

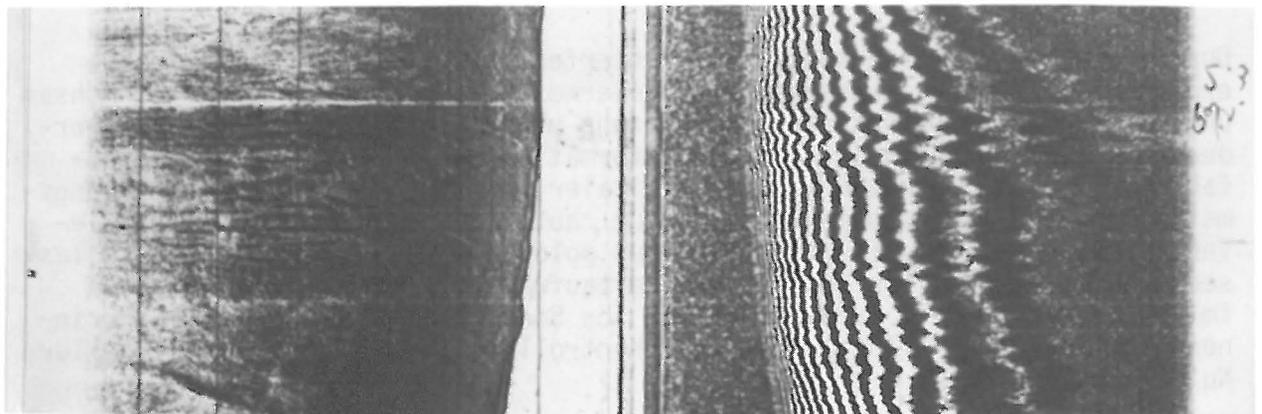


Abb.6: Interferometrische Side-Scan-Sonar Aufnahme

Die geometrische Verarbeitung ergab ein dreidimensionales Punktraster, das zur Weiterverarbeitung Eingang in ein am Lehrgebiet für Kartographie und Topographie entwickeltes Programmpaket zur Interpolation und automatischen Zeichnung von Höhenlinien - hier Tiefenlinien - fand. Das Ergebnis ist in Abbildung 7 dargestellt. Auf eine Einbindung in ein Koordinatennetz aufgrund von Kursdaten wurde verzichtet.

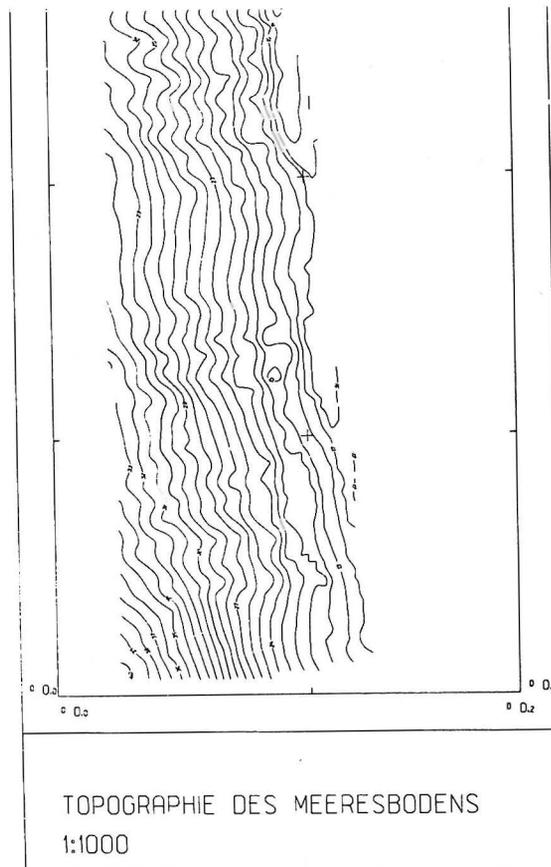


Abb.7: Tiefenlinien aus interferometrischen Side-Scan-Sonar Daten

## 5. Zusammenfassung

Durch die Erzeugung von künstlichen Interferenzen in einer Sonaraufnahme eröffnen sich der hydrographischen Seevermessung neue Wege. Wo bisher mühsam und mit großem Zeitaufwand mit Echolotung viele Tiefenprofile gefahren werden mußten, erhält man die gleiche Informationsdichte durch nur eine Meßfahrt. Die nachfolgende Anwendung digitaler geometrischer Bildverarbeitungsmethoden auf einem Computer bis hin zur automatischen Kartierung der Tiefenlinien erhöht die Effektivität einer solchen Anlage beträchtlich. Es lassen sich so mit weniger Kosten- und Zeitaufwand die anstehenden Aufgaben im Küstengebiet wie z.B. Neuaufnahmen von Seekarten, Erfassung von Fahrrinnenveränderungen in Tidegebieten und Kontrollen von Bereichen industrieller Nutzung durchführen.

## Literature

- /1/ E.Clerici "On the applicability of Side-Scan-Sonar to mapping of bottom topography". Dissertation, Universität Hannover, 1976
- /2/ EG+G Instruction Manual, Side-Scan-Sonar System Mark 1B, 1975
- /3/ W.D.Chesterman: "Acoustic survey of the sea floor near Hong Kong" International Hydrographic Review, January 1967
- /4/ M.Heaton, R.Haslett: "Interpretation of Lloyd Mirror in Side Scan Sonar" Seminar on Side Scan Sonar Application, University of Bath, 1971
- /5/ R.Belderson et al.: "Sonographs of the sea floor". A picture atlas. Elsevier Publishing Co., 1972